

# Fysikkens varme emne

Af Nicolai Nygaard

**For fire år siden lykkedes det for forskere i Boulder, Colorado, at producere hvad der er blevet kaldt »fysikkens hellige gral«, siden Einstein forudsagde eksistensen af fænomenet for mere end 70 år siden. Nu har forskere ved samme institution i endnu et banebrydende eksperiment kølet en atomar gas ned til ekstremt lave temperaturer, og derved fremstillet en ny tilstandsform, som demonstrerer de fysiske love, der styrer naturens mindste bestanddele.**

Kvantemekanikken er den fysiske teori, som beskæftiger sig med atomernes mikroverden. Siden den blev formuleret i midten af 1920'erne har den fascineret og forundret fysikere verden over i en sådan grad, at en af teoriens hovedmænd, Niels Bohr, har udtalt, at hvis man påstår at forstå kvantemekanikken har man ikke forstået noget som helst. Forundringen skyldes, at de forudsigelser, som teorien kommer med for mikroskopiske fænomener i mange tilfælde synes at være i modstrid med de erfaringer, vi har fra hverdagen.

For eksempel er vi vant til at opfatte partikler som små bolde, der til et givet tidspunkt befinder sig et bestemt sted. Men i kvantemekanikken forholder det sig anderledes, her må man i visse situationer betragte partikler, som udtværede størrelser. Dette fænomen er særlig fremtrædende ved meget lave temperaturer, hvor partiklerne kan blive så udtværede, at de begynder at overlape indbyrdes, i en sådan grad, at man ikke kan skelne dem fra hinanden. Når det sker, bliver en anden af kvantemekanikkens love meget vigtig.

Der eksisterer principelt to slags partikler i naturen; fermioner og bosoner. Opkaldt efter Enrico Fermi og den indiske fysiker Bose. Alle kendte partikler kan opdeles efter, om de tilhører den ene eller den anden klasse af partikler, som har vidt forskellige egenskaber. Bosoner er sociale partikler i den forstand, at der kan være et ubegrænset antal af dem i en given tilstand. Ved temperaturer kun en brøkdel over det absolutte nulpunkt, vil bosoner samle sig i en og samme tilstand og opføre sig som en enkelt partikel, et »superatom«. Denne tilstand kaldes for et Bose-Einstein kondensat efter de fysikere, der forudsagde fænomenets eksistens, og blev for første gang observeret i en atomar gas i 1995.

For fermioner forholder det sig imidlertid helt anderledes. De adlyder en af fysikkens vigtigste love: Paulis udelukkelsesprincip. Ifølge denne lov er fermioner fra naturens side anti-sociale partikler, idet to identiske fermioner aldrig kan være i den eksakt samme tilstand. Derfor undgår fermioner altid hinanden. Man kan sammenligne partiklerne med koncertgængere; alle vil de helst sidde så tæt på orkestret som muligt, men der er kun plads til én på hvert sæde. Når pladserne på

første række er fyldt op, må de næste tage til takke med anden parket og så fremdeles.

Elektronerne i et atom vil, fordi de er fermioner, derfor arrangere sig i skaller svarende til forskellige stolerækker, hvilket giver anledning til de forskelle i kemisk opførsel, der er mellem grundstofferne i det periodiske system. Indtil nu har man kun kunnet studere fermioners fundamentale opførsel i systemer, hvor partiklerne vekselvirker stærkt med hinanden. Det gør det mere uklart, hvad der egentlig foregår. Men for nylig lykkedes det for Deborah S. Jin og Brian DeMarco i Boulder, Colorado, at køle en gas af kaliumatomer så langt ned, at atomernes kvantemekaniske natur trådte utilsløret frem. De publicerede deres resultater i det ansete videnskabelige tidsskrift Science.

»Dette er en eksperimentel milepæl, fordi det giver os et nyt system af fermioner at studere. Et system, hvor vekselvirkningerne ikke bare er svage, men i princippet er under eksperimentalfysikernes kontrol«, fortæller Bill Phillips. Han modtog i 1997 Nobelprisen i fysik og er daglig leder af afdelingen for atomfysik på National Institute of Standards and Technology (NIST) nær Washington D.C.

»Eksperimentet, som Jin og DeMarco har udført er meget svært«, supplerer Charles Clark, der er leder af afdelingen for elektronisk og optisk fysik på NIST. »Blandt andet fordi de var nødt til at arbejde med en isotop af kalium, som kun har en naturlig forekomst på 0,01%. Derfor var gassen de kølede specialfremstillet, hvilket gjorde den meget dyr«.

Et andet problem Jin og DeMarco stødte på, knytter sig ironisk nok til atomernes fermioniske natur, som de netop søgte at blotlægge. Normalt køler man atomare gasser ned ved at holde dem fanget i magnetiske fælder, hvorfra man lader de hurtigste (det vil sige de varmeste) atomer undslippe. Herved bliver de resterende koldere og koldere, ligesom en kop kaffe gradvis afkøles ved at afgive de mest energirige molekyler til luften som damp. At denne »fordampning« fører til en afkøling af gassen kræver dog, at de tilbageblevne atomer så at sige kan blive enige om en ny, lavere temperatur. Måden det sker på er gennem sammenstød. Men fermionernes kvantemekaniske natur tillader, som vi har set, ikke at to atomer er på samme sted på samme tid. Derfor vil kollisioner ophøre under en vis temperatur, og derfra kan gassen ikke køles længere ned.

Jin og DeMarco omgik dette problem ved at dele atomerne ud i to forskellige kvantetilstande. Da sammenstød mellem to atomer i hver sin tilstand er mulige, kunne de to halvdele af gassen køle hinanden. På den måde var de i stand til at sænke gassens temperatur fra stuetemperatur til 290 milliardtedele af en grad over det absolutte nulpunkt. De kunne konstatere, at atomernes fordeling over

forskellige energiniveauer, præcis svarede til hvad man forventede fra Paulis udelukkelsesprincip.

Bill Phillips siger om eksperimentet: »Ligesom produktionen af Bose-Einstein kondensatet for fire år siden præsenterer det os for et nyt kvantesystem, som vi har større kontrol over end vi er vant til, og hvor vi i princippet kan beregne det meste«. Netop sammenligningen med teoretiske forudsigelser spiller en stor rolle i forskningen i kolde atomer, og i deres artikel i Science citerer Jin og DeMarco flere artikler af danske Georg Bruun, som beskæftiger sig med at beregne atomernes opførsel.

I det lange løb forventes det, at Jin og DeMarcos eksperiment vil give en bedre forståelse af superledning, som er det fænomen, der indtræder i visse metaller, når elektronerne går sammen i par. Det manifesterer sig ved, at metallet i den situation kan lede strøm helt uden modstand. I en kold atomar gas vil det svare til, at atomerne begynder at binde sig til hinanden to og to, men det kræver endnu lavere temperaturer. Det er dog målet for flere forskningsgrupper rundt omkring i verden.